

Sonderdruck aus:
Münchner Beiträge zur Abwasser-, Fischerei- und Flußbiologie
Herausgegeben von Prof. Dr. Hans Liebmann, München

Band 4

Der Einfluß der Organismen in Kiesschotterböden der Flüsse auf die Wasserversickerung

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
der Hohen Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilian-Universität
zu München

Vorgelegt von
HORST KUSTERMAN
Ulm (Donau) 1957

1. Berichterstatter: Prof. Dr. H. Liebmann
2. Berichterstatter: Prof. Dr. K. v. Frisch

Tag der mündlichen Prüfung: 31. Juli 1957

R. OLDENBOURG · MÜNCHEN 1958



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41555227_0027

Der Einfluß der Organismen in Kiesschotterböden der Flüsse auf die Wasserversickerung¹⁾

VON HORST KUSTERMANN

Bayerische Biologische Versuchsanstalt München

I. Problemstellung und Literaturübersicht

Durch die vorliegende Arbeit sollte untersucht werden, ob durch die Biocoenosen der Flußsohle und durch ihre Lebensprozesse eine Abdichtung des Flußbettes in mechanischer, biologischer und chemischer Hinsicht herbeigeführt werden kann.

Über die Vorgänge, die sich bei der Versickerung des fließenden Wassers abspielen, liegen nur einige Untersuchungen von Ruhr- und Rheinwasserwerken vor. Dagegen fanden die Reinigungsprozesse, die sich bei der Versickerung stehenden Wassers zum Zwecke der Trinkwassergewinnung abspielen, schon bedeutend früher Beachtung. Zuerst sah man in den Trinkwasserfiltern im wesentlichen mechanisch wirkende Siebe, welche durch tote und lebende, organische und anorganische im Rohwasser suspendierte Stoffe während der Einarbeitungszeit in den obersten Schichten bakteriendicht verstopft werden (KIRKWOOD 1869 und FRÄNKEL und PIEFKE 1890). PENNINK (1908) hat zum erstenmal die Vermutung ausgesprochen, daß der Filterprozeß nicht nur als ein mechanisch-physikalischer Vorgang aufzufassen ist. Neben der mechanischen Wirkung der Sandkörner weist er auf die »eigentliche Filterhaut« hin, die als das geeignetste Mittel zur Erzielung von reinem Trinkwasser gelte, in deren Einwirkungen man indessen noch nicht eingedrungen sei. Auch KISSKALT (1915) sieht in der Filtration einen biologischen Vorgang. Ihm gebührt das Verdienst, daß er als erster versuchte, durch Modellanlagen die Wirkungsweise der Sandfilter aufzuklären. Durch Zusatz von Giftstoffen tötete er im Rohwasser die Protozoen ab. Dadurch passierten erheblich größere Bakterienmengen das Filter als bei den Kontrollversuchen. KISSKALT schrieb deshalb den Protozoen bei der Filtration den größten Teil des Reinigungsprozesses zu. Nach den Ausführungen mehrerer Autoren sollen die Protozoen sogar die Fähigkeit besitzen, besonders die pathogenen Keime zu vernichten. In Mischkulturen von Wasserkeimen und wasserfremden pathogenen Bak-

¹⁾ Dissertation der Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität München.



terien verschwanden die pathogenen Keime in den protozoenhaltigen Proben rascher. Bei diesen Versuchen ist jedoch nach meiner Ansicht zu berücksichtigen, daß die Wasserbakterien die Verluste durch Protozoenfraß durch ihre Vermehrung ausgleichen können, während sich die wasserfremden pathogenen Keime nicht vermehren, bald absterben und außerdem durch Protozoen vernichtet werden, so daß die Abnahme der wasserfremden Keime durch Protozoenfraß im Verhältnis zu den Wasserkeimen stärker erscheint. WAGNER, G. (1929), führte in seiner Modellkläranlage ebenfalls Versuche mit Giftstoffen durch und kam zu ähnlichen Ergebnissen wie KISSKALT. HEUKELEKIAN (1931) weist jedoch darauf hin, daß die von KISSKALT angegebenen Konzentrationen auch schädigend auf die Bakterien wirken, und nach der Ansicht von LIEBMANN (1936) dürften bei WAGNER auch Allgemeinschädigungen der Bakterienflora vorliegen. Bei seinen Versuchen über die Selbstreinigung stehenden Abwassers fand LIEBMANN, daß die Protozoen kein aktiver Faktor der Selbstreinigung stehenden Wassers sein können. »Diese beruht vielmehr auf rein bakterieller Tätigkeit. Die Protozoen stellen dabei nur die Nutznießer der reichen Bakterienwelt dar.« Nach VIEHL (1937), HEUKELEKIAN und GURBAXANI (1949) und JÄGER (1938) beruht die Bedeutung der Protozoen auf der Ausflockung der Kolloide.

Die Reinigung, die das versickernde Wasser erfährt, wurde jedoch nicht nur den Protozoen zugeschrieben. DORNEDDEN (1930) denkt an eine Unterdrückung der Bakterien durch andere Bakterienarten und durch Algen sowie an die Möglichkeit eines Beitrages durch Bakteriophagen.

Über das Auftreten von Algen auf Filteranlagen liegen mehrere Untersuchungen vor. Ihre Hauptentwicklung finden sie in den lichtzugänglichen offenen Filtern, vorwiegend im Sommerhalbjahr. So kann sich also neben dem Schlamm Schleier, wie er von KISSKALT und DORNEDDEN beschrieben wurde, auch eine dichte biologische Filterdecke auf der Sandoberfläche ausbilden, sofern die Filter dem Licht ausgesetzt sind. Die Ausbildung einer dichten Filterhaut infolge einer Massenentwicklung von Algen führt sehr oft zu einer raschen Abdichtung des Filters, besonders im Frühjahr. Störungen bei der Filtration treten insbesondere an sonnenscheinreichen Tagen auf. Infolge starker Sauerstoffentwicklung kann es zum Hochtreiben der Filterdecke kommen, so daß die Sandoberfläche frei liegt und das Filter stärker durchlässig wird.

Daß neben der mechanischen Reinigung des Rohwassers auch eine chemische Veränderung bei der Filtration stattfindet, zeigt HURDELBRINK (1923). Der Schwund an Sauerstoff ist bedeutend und gleichzeitig wird der KMnO_4 -Verbrauch bei der Filtration geringer. DORNEDDEN spricht die teilweise Oxydation der oxydablen Stoffe mit dem gelösten Sauerstoff zum großen Teil den auf und im Filter lebenden Organismen zu.

Eingehendere bakteriologische Untersuchungen bei der Sandfiltration wurden besonders von STUNDL (1939) und in neuerer Zeit von CALAWAY, CAROLL

und LONG (1952) durchgeführt. Bei vielen Bakterienarten besteht eine Abnahme der Zahl mit zunehmender Sandtiefe. Die Ansicht, daß eine Abnahme der Enteritisbakterien durch Antibiotika produzierende Organismen erfolgt, konnte nicht bestätigt werden.

Während in den bisherigen Erörterungen die Vorgänge bei der Versickerung stehenden Wassers behandelt wurden, liegen über die Beziehungen zwischen der Biocoenose von Fließgewässern und den Versickerungsverhältnissen keine Untersuchungen vor, nur einige Angaben über Erfahrungen bei der Gewinnung von uferfiltriertem Flußwasser. BRUNS (1927) hat nachgewiesen, daß die Uferfiltration nicht keimdicht arbeitet. In die Ruhr eingebrachte *Prodigiosus*-bakterien konnte er schon wenige Stunden später in den zugehörigen Brunnen nachweisen, bald auch darauf im Leitungswasser. Die Abhängigkeit der Beschaffenheit des Trinkwassers der Wasserwerke an der Ruhr von der Beschaffenheit des Ruhrwassers untersuchten GUNDEL und TÄNZLER (1937). Während der kälteren Monate ist regelmäßig ein Ansteigen der Keimzahlen in den Sammelgalerien zu beobachten, ebenso bei Hochwasser. Auch ROEMER (1948) konnte auf Grund 4jähriger Beobachtungen eine starke Erhöhung der Keimzahlen im uferfiltrierten Wasser in der kälteren Jahreszeit und bei plötzlichem Anstieg des Rheinwassers feststellen. ROEMER nimmt an, daß die Organismen in der Filterhaut, Protozoen und andere Tiere, zum Teil absterben und dadurch der Übertritt von Bakterien in das Bodenwasser erleichtert wird. Nach GUNDEL und TÄNZLER werden die im Wasser gelösten anorganischen Stoffe durch die Uferfiltration nicht beeinflusst. Angeführt werden dafür der Gehalt an Chloriden und der Gesamthärte.

Wie aus dieser kurzen Übersicht zu sehen ist, liegen über die Versickerung und Filtration von fließendem Wasser nur wenige Angaben vor. Die vorliegende Arbeit soll einen Beitrag darstellen zur Klärung der Frage, inwieweit die Lebensgemeinschaften in Kiesschotterböden der Flüsse auf die Wasser-versickerung einwirken.

Bei den meisten Flüssen speist der Grundwasserstrom den Fluß, besonders in trockenen Zeiten. Bei den Wasserläufen der Schotterebenen dagegen gibt der Fluß Wasser an den Untergrund ab. Besonders stark sind die Wasser-verluste in Trockenperioden.

Sehr interessante Verhältnisse liegen in der Mangfall vor im Bereich der Münchener Grundwasserfassungen bei Reisach im Flußdreieck zwischen Mangfall und Schlierach, rund 40 km ssö. von der Stadt München entfernt (Abb. 11). Der Grundwasserträger wird durch den undurchlässigen Flnz gebildet (oligozäne Molasse aus weichem Sandstein und weichem Tonmergel), die zum Teil sehr mächtigen glazialen Schotter bilden den Grundwasserspeicher. Durch die starke Relieferung des Flnzes wird bei Reisach ein Grundwasserbecken gebildet, das bis zu einer Höhe von 30 m überschottet ist, während die nördliche Barriere des Reisacher Talkessels, d. h. die östliche Fortsetzung des tertiären Taubenberges nur 4 bis 6 m unter der Schotter-

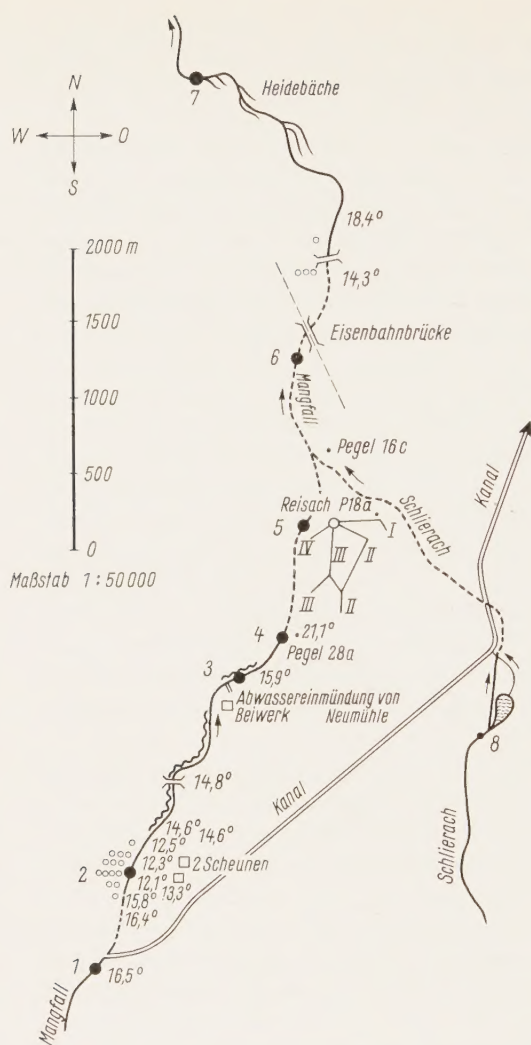


Abb. 11. Wasserführung und Temperaturen der Mangfall am 5. 9. 1954.

- Wasserführung,
- - - - - keine Wasserführung,
- ~~~~~ Flinz liegt unverdeckt im Flußbett,
- o o o o Gasblasen steigen auf,
- 16,5° usw. Wassertemperaturen.

schicht liegt. Dieser natürliche Grundwasserbehälter umfaßt die Grundfläche von etwas mehr als 0,5 km² (HENLE 1912) und speichert zirka 387 000 m³ Wasser (Porenvolumen 15 %, Grundwassertiefe 5 m). Der von Süden nach Norden fließende Grundwasserstrom wird durch Sickerschächte von rund 3000 m Gesamtlänge aufgefangen und einem Hauptsammelschacht zugeleitet, in dem durch die Einlaufschleusen die Wasserentnahme aus dem Grundwasserkessel durch Absenkung und Aufstauung des Wasserspiegels geregelt werden kann. Die Einstiegschächte am Ende der Stollen sind bei den Sammelkanälen I, II und III etwa 11 m tief, während sich Stollen IV in einer Tiefe von 8,15 m befindet. Die kürzesten Entfernungen von den Endschächten bis zur Mangfall betragen: Kanal IV 90 m, Kanal III 110 m, Kanal II 320 m, Kanal I 500 m (160 m von der Schlierach entfernt). Die wassertragende Tertiärschicht, der Flinz, liegt auf der Höhe des Hauptsammelschachtes 3 bis 4 m unter der Mangfallsohle, das sind etwa 7 bis 8 m unter der Erdoberfläche. Diese tertiäre Schicht fällt nach Osten gegen die Mitte des Tales ein, so daß der Flinz bei Grundwasserstollen III kurz vor dem Hauptsammelschacht in einer Tiefe von etwa 21 m liegt, d. h. zirka 10 m unter dem Grundwasserfassungstollen III. Wir

haben also auf eine Entfernung von etwa 210 m ein Gefälle der wassertragenden Schicht (Flinz) von der Mangfall zu dem Grundwasserfassungstollen III um 13 bis 14 m.

Das Mangfallbett führt etwa parallel zu den Grundwasserfassungstollen vorbei. Das Flußbett der Mangfall und auch das Bett der Schlierach liegen jedoch meist trocken, denn 3,5 km oberhalb Reisach wird das Mangfallwasser durch einen Kanal für Industriezwecke abgeleitet und durch einen Stollen dem Seehamer See zugeführt (Abb. 11). Dabei nimmt dieser Kanal auch das Schlierachwasser auf, denn auch dieses wird zu demselben Zweck abgeleitet. Nur zur Zeit der Schneeschmelze und nach starken Niederschlägen führen deshalb Mangfall und Schlierach auch im alten Flußbett unterhalb der Einlaufwerke Wasser. Da die Schlierach in ungleich stärkerem Maße als die Mangfall mit Abwässern belastet ist, sind die zuständigen Stellen bemüht, das Einströmen der Schlierach in ihr altes ausgetrocknetes Flußbett unterhalb des Einlaufwerkes nach Möglichkeit zu verhindern durch teilweise oder ganze Einleitung des Mangfallwassers in das alte Flußbett. Durch diese Maßnahme wird der Stollen vom Mangfallwasser befreit und kann somit größere Mengen von Schlierachwasser aufnehmen und ableiten. Das in das alte Flußbett einströmende Flußwasser versickert zu einem großen Teil sehr rasch. Besonders starke Infiltration wurde beobachtet unterhalb des Weidenauer Wehres nach dem Ableitungskanal für das Mangfallwasser. Diese Versickerung geht jedoch schon einige Tage später merklich zurück. Es wurde beobachtet, daß in den Sammelstollen während der Wasserführung im Mangfallbett gelegentlich erhöhte Keimzahlen auftraten. Es sollte nun zunächst festgestellt werden, ob ein ursächlicher Zusammenhang besteht zwischen der Wasserführung im alten Mangfallbett und der Wasserführung und Wasserbeschaffenheit in den Grundwasserfassungstollen. Es sollte ferner untersucht werden, ob den Biocoenosen der Flußsohle und im Untergrund eine Bedeutung zukommt hinsichtlich einer Abdichtung des Flußbettes in biologischer, chemischer und mechanischer Hinsicht. Die Bildung und Zusammensetzung dieser Lebensgemeinschaften, ihre mechanisch-strukturelle und physiologisch-ökologische Rolle sollten untersucht werden, mit besonderer Berücksichtigung der Trockenperioden.

So wichtig diese Geländeuntersuchungen auch waren, so war es jedoch auch wichtig, bestimmte Fragen im Laboratorium zu klären. Diese Laboratoriumsuntersuchungen wurden in den Jahren 1953 und 1954 durchgeführt. Aus der Literaturübersicht ist zu sehen, daß eine biologische Filterhaut bzw. ein biologischer Schlamm Schleier erwähnt, aber noch nie eingehend untersucht wurde. Bei diesen Laboratoriumsversuchen mit stehendem Wasser waren die Fragestellungen dieselben, wie bei den Flußuntersuchungen. Bei den Laboratoriumsuntersuchungen sollte außerdem die Frage untersucht werden, ob bei der Abdichtung eines Filters und bei der Veränderung des versickernden Wassers vorwiegend Bakterien oder Protozoen beteiligt sind.

II. Biologische und bakteriologische Untersuchungen über die Beschaffenheit des Wassers in den Grundwasserfassungsstollen II und III der Trinkwasserfassung Reisach und ihre Beziehung zur Wasserführung der Mangfall

Die biologischen und bakteriologischen Untersuchungen erfolgten während der Wasserführung der Mangfall und in der Zeit, in der das Flußbett trocken lag. Während der gesamten Untersuchungszeit waren die Speisekanäle I und IV außer Betrieb gesetzt. Die Untersuchungen bei trocken liegendem Mangfallbett ergaben stets einen sehr geringen Keimgehalt (1 bis 7 Keime/cm³) und einen unbedeutenden Gehalt an ungelöster Substanz in jeweils 300 l Wasser. Aus allen Untersuchungsbefunden ist zu erkennen, daß bei trocken liegendem Mangfallbett das in den Stollen II und III gesammelte Grundwasser eine gleichmäßige, gute Beschaffenheit besitzt. Auf den Abbildungen 12 und 13 ist ein Teil der Untersuchungsbefunde bei Wasserführung im Mangfallbett

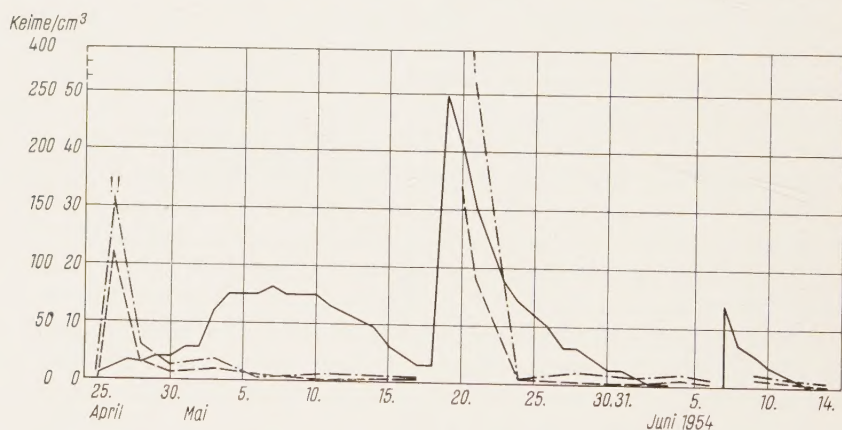


Abb. 12. Wasserführung der Mangfall und Keimzahlen in den Wasserfassungsstollen II u. III vom 25. 4.—14. 6. 1954.

— Wasserführung in m³/sec, — — — — — Keimgehalt im Stollen II, Keimgehalt im Stollen III, ! Bacterium coli.

abgebildet. Vor dem 25. 4. 1954 lag das Flußbett bei Reisach 10 Tage trocken und vor dem Einströmen des Mangfallwassers am 2. 7. 1954 20 Tage. Schon bald nach dem Einströmen des Wassers stieg der Keimgehalt in den Grundwasserfassungsstollen bedeutend an und es konnte Bacterium coli festgestellt werden.

Bei den biologischen Untersuchungen mit dem Planktonnetz wurden nicht selten Kieselalgen gefunden: *Diatoma vulg.* var. *Ehrenbergii*, *Tabellaria*

fenestrata, *Navicula spec.*, *Synedra ulna*, *Fragilaria crotonensis*, *Cymbella spec.*, Bruchstücke von *Asterionella formosa* und *Peridiniumschalen*. Alle im Grundwasser gefundenen Organismen sind in der Mangfall sehr häufig anzutreffen. Besonders die Kieselalgen bilden die Aufwuchsbiocoenen und treten in Massenentwicklung auf. Zu erwähnen sind auch besonders die Funde von lebenden Protozoen (*Uronema marinum*) und das Gehäuse eines Rädertierchens: *Notholca longispina*, das oft in oligosaprobeen Seen vorkommt. In der Mangfall ist es besonders im Frühjahr und Herbst zu finden, sehr wahrscheinlich ausgeschwemmt aus dem Tegerensee. Der Rückgang der Keimzahlen und Kieselalgen erfolgte zum Teil trotz der zunächst noch zunehmenden Wasserführung im Mangfallbett, und der normale Keimgehalt wurde erreicht noch während der Wasserführung im Flußbett.

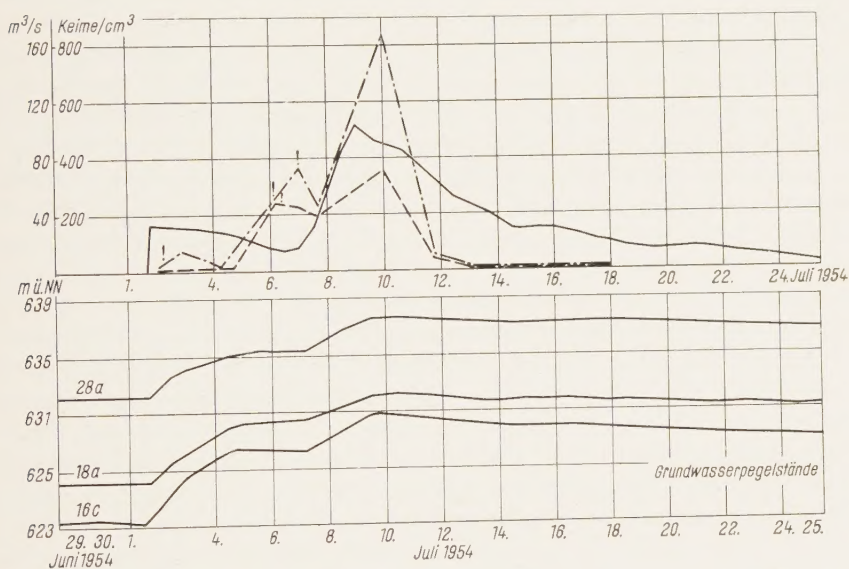


Abb. 13. Wasserführung der Mangfall und Keimgehalt im Grundwasser in der Zeit vom 29. 6. — 25. 7. 1954.

———— Wasserführung der Mangfall, - - - - - Keimgehalt im Stollen III
 - - - - - Keimgehalt im Stollen II, ! Bacterium coli.

Obwohl aus diesen Untersuchungen enge Beziehungen zwischen der bakteriologischen und biologischen Beschaffenheit des gesammelten Grundwassers und dem Einfließen der Mangfall in das ausgetrocknete Flußbett und dem Anstieg der Grundwasserpegel festzustellen sind, kann nicht der Schluß gezogen werden, daß diese erhöhten Keimzahlen, das Auftreten von *Bacterium coli* und der gefundenen Mangfallorganismen auf eine rasche Infiltration von der Mangfall her zurückgeführt werden müssen.

1. Auffallend ist bei den Kieselalgen, die mit Sicherheit aus dem Mangfallbett stammen, das Fehlen der Chromatophoren. Da die Diatomeen einige Zeit nach Abschluß vom Sonnenlicht ihre Chromatophoren reduzieren, liegt der Gedanke nahe, daß die gefundenen Kieselalgen nicht direkt aus dem Mangfallbett, sondern aus tieferen Schichten stammen. Wie lange sie schon vom Licht abgeschlossen waren und aus welcher Tiefe sie nun eingeschwemmt wurden, kann nicht gesagt werden. Zu bedenken ist jedoch, daß auch bei längerer Trockenheit im Flußbett und intensiver Bestrahlung ebenfalls Reduktionserscheinungen in den Kieselalgen auftreten können. Da aber bei sämtlichen Diatomeen die Chromatophoren fehlten, ist es wahrscheinlich, daß diese Organismen nicht direkt aus dem Mangfallbett stammen und durch das versickernde Wasser nicht direkt bis in die Grundwasserfassungstollen getragen wurden, sondern erst im Verlauf längerer Zeiträume aus dem Mangfallbett in das Grundwasser gelangten.

2. Das Auftreten des Ciliaten *Uronema marinum*, der normalerweise nur im Oberflächenwasser vorkommt (in der Mangfall nicht selten), könnte für eine rasche Infiltration sprechen. Es ist aber wahrscheinlicher, daß dieses Wimpertierchen als Cyste in das Grundwasser gelangte und sich wieder excystiert hat.

3. Auch die gefundenen Coli-Keime müssen nicht direkt aus der Mangfall stammen, denn die Lebensdauer von *Bacterium coli* kann im Boden mehrere Monate betragen (KNORR 1951, BARTOS, BANGASI und BAKOS 1946, YOUNG und GREENFIELD 1923 und KULP 1932). Da im Bereich der Wasserfassungen eine ausgedehnte Schutzzone besteht, dürften die Coli-Keime nicht von der Bodenoberfläche eingewandert sein. Aus den Untersuchungsergebnissen lassen sich also keine Beweise dafür finden, daß das versickernde Mangfallwasser kurze Zeit später direkt das in den Speisekanälen gesammelte Grundwasser beeinträchtigt. Nichtsdestoweniger ist besonders bei der Untersuchungsreihe vom 2. 7. bis 18. 7. ein Zusammenhang zwischen Mangfallwasserführung, Pegelständen und Keimzahl auffällig, insbesondere im Speisekanal III. Nicht die Höhe der Grundwasserpegelstände scheint für die Keimzahl so sehr von Bedeutung zu sein, sondern die Bewegungstendenz. Ein starker Anstieg der Pegel beim Einstromen der Mangfall deutet auf eine Infiltration von Mangfallwasser hin, wobei der Pegelanstieg auch indirekt durch das infiltrierte Wasser bedingt sein kann. Bei dem Hochwasserhöchststand der Mangfall am 9. 7. 1954 erfolgte der Höhepunkt der Grundwasserpegel 24 Stunden später, am 10. 7. 1954. Zu diesem Zeitpunkt wurden im Speisekanal III 830 Keime/cm³ festgestellt und im Kanal II 359 Keime/cm³, ohne daß *Bacterium coli* nachgewiesen werden konnte. Auch pflanzliche und tierische Organismen konnten nur ganz vereinzelt festgestellt werden. Es darf deshalb angenommen werden, daß es sich bei den hohen Keimzahlen am 10. 7. 1954 nicht um direkt infiltrierte Bakterien aus der Mangfall handelte, sondern um Bodenkeime, die auf den extrem hohen Anstieg des Grundwasserspiegels zurückzuführen sind, bei dem Bodenschichten vom Wasser durch-

drungen wurden, die fast nie vom Grundwasser erreicht werden. (Während sich am 2. 7. 1954, an dem Tag, an dem die Mangfall wieder im alten Flußbett Wasser führte, der Grundwasserspiegel beim Pegel 28a 7,71 m unter der Erdoberfläche befand, lag er am 10. 7. 1954 nur noch 2,16 m unter der Erdoberfläche!)

Durch die Auffüllung des Grundwasserbeckens wird wahrscheinlich ein Aufstau des Wassers zur Mangfall hin erfolgen, so daß nur noch wenig Wasser infiltriert. Infolge des geringeren Gefälles und der verminderten Fließgeschwindigkeit des Wassers im Untergrund können die eingeschwemmten Organismen und Bakterien nicht mehr so schnell weitergetragen werden, sie können sich ablagnern. Da im Untergrund kaum Nährsubstanzen vorhanden sind und da ferner die Bodentemperaturen ziemlich tief sind, findet wohl kaum eine Vermehrung dieser Bakterien und Organismen statt, sicherlich dagegen eine gewisse Konservierung bzw. Encystierung. Durch eine Erhöhung der Wassergeschwindigkeit bzw. durch einen Anstieg des Grundwassers, d. h. durch eine ansteigende Tendenz der Grundwasserpegel, können diese Organismen wieder von neuem losgerissen und vom Wasser mitgespült werden, entweder bis zur nächsten Ablagerung oder bis in die Speisekanäle.

Ob bei dem raschen Rückgang der Keimzahlen auf die Norm noch während der Wasserführung der Mangfall auch eine Abdichtung des Flußbettes durch die Biocoenosen der Flußsohle beteiligt ist, wurde in den folgenden Versuchen untersucht.

Es ist also offensichtlich, daß eine Untergrundverschmutzung durch die Mangfall stattfindet. Zu betonen ist, daß sich diese Infiltrationen nicht sofort bemerkbar machen müssen. Die ungelösten Bestandteile können sich, wie bereits ausgeführt, ablagnern und erst später wieder losgelöst und weitergetragen werden. Die Verunreinigung des Untergrundes wird besonders dadurch gefördert, daß die Mangfall nur zeitweise Wasser führt. Bei jedem neuen Eindringen von Wasser in das ausgetrocknete Mangfallbett werden mit dem zuerst rasch versickernden Wasser von der Oberfläche gelöste und ungelöste Stoffe in den Untergrund eingespült.

Bei der Besprechung der Untersuchungsergebnisse müssen noch die Grenzen bei der Beurteilung von Gesamtkeimzahlbestimmungen beachtet werden. Wie BEGER (1946) ausdrücklich betont, stellt die Keimzahlbestimmung eine für die Praxis angewandte Methode dar, die ein zwar durchaus zweckmäßiger, aber vollkommen willkürlicher Maßstab ist und bei weitem nicht alle im Wasser vorhandenen Keime zur Entwicklung bringt. Die Ergebnisse von Keimzahlbestimmungen können nur ein Maßstab innerhalb derselben Untersuchungsmethode sein. Die Verbindungslinien zwischen den einzelnen Keimzahlwerten dürfen nicht als tatsächlicher Kurvenverlauf angesehen werden. Den tatsächlichen Verlauf festzustellen ist nicht möglich, da sich die Keimzahlverhältnisse in kurzen Zeitabständen stark verändern können und auch das zur selben Zeit entnommene Untersuchungswasser in bakteriologischer Hinsicht nicht homo-

gen ist. Die Verhältnisse und die Untersuchungsbefunde ändern sich fortwährend. Ein genaues Bild könnten nur laufende Untersuchungen ergeben. Wie die Versickerung von Mangfallwasser sich auf das Grundwasser auswirken kann, wurde durch diese Untersuchungen festgestellt.

III. Untersuchungen über die Abdichtung im Flußbett durch die Biocoenosen der Flußsohle

Durch die folgenden Untersuchungen sollte festgestellt werden, ob im Flußbett selbst eine Abdichtung durch die Biocoenosen der Flußsohle stattfindet. Die Untersuchungen wurden an mehreren Stellen durchgeführt, da bestimmte Flußabschnitte für besonders durchlässig galten. Um den Einfluß der verschiedenen Biocoenosen festzustellen, wurden die Abdichtungsverhältnisse bei verschieden starker Eutrophierung des Wassers untersucht. Die Abdichtung wurde durch Töpfe, die in das Flußbett eingesenkt wurden, festgestellt. Die Töpfe waren aus durchlochem Stahlblech angefertigt und wurden mit Schotter gefüllt (Abb. 14 und 15). Vor dem Eingraben der Töpfe in das Flußbett wurden diese Behälter auf die Höhe der Wasserdurchlässigkeit geprüft. Nach bestimmten Zeitabständen wurden die Töpfe aus dem Flußbett entfernt (wenn es die Wasserführung zuließ) und an Ort und Stelle wiederum auf ihre Durchlässigkeit geprüft. Die Abdichtung war an den verschiedenen Orten sehr unterschiedlich. Bei oligosaprobem Flußwasser (Topf 7 in Abb. 11) konnte keine wesentliche Abdichtung festgestellt werden. Auf den Steinen des Behälters und auch der gesamten Flußsohle bei der Einmündung der Heidebäche konnten nur vereinzelte β -mesosaprobe und oligosaprobe Organismen

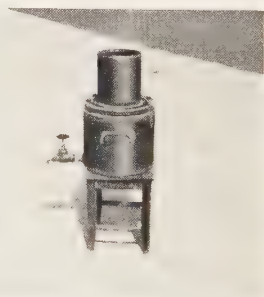
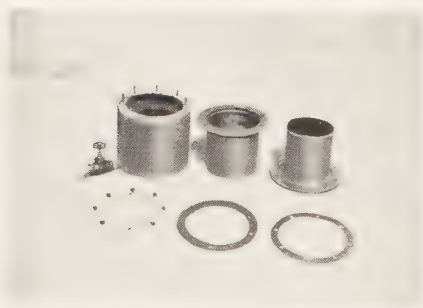


Abb. 14. Versuchsgesamtheit zur Feststellung der Abdichtung im Flußbett. In der Mitte einer der durchgelochten Töpfe, die mit Schotter gefüllt in das Flußbett eingesenkt wurden. Zur Messung der Durchlässigkeit wurden diese in den auf der Abbildung links stehenden Behälter eingesenkt. Der rechts stehende Aufsatz wurde zur Messung aufgeschraubt und mit Wasser gefüllt. Im Vordergrund: Schrauben und Dichtungsringe.

Abb. 15 (rechts). Das zusammengesetzte, meßbereite Versuchsgesamtheit.

festgestellt werden. Im Gegensatz dazu war im Topf 8 in der Schlierach, deren Wasser sehr nährstoffreich ist, eine sehr gute, fast vollkommene Abdichtung zu beobachten. Die Abdichtung bildete sich schon wenige Tage nach dem Einsetzen des Topfes aus und nahm mit zunehmender Versuchsdauer noch langsam weiter zu. Bei der Untersuchung der Biocoenosen konnte eine an Arten und Zahl reiche Organismenwelt festgestellt werden. Die meisten Organismen waren typisch für die α -mesosaprobe bis polysaprobe Güteklasse. Die Abdichtung der in das Mangfallbett eingesenkten Töpfe war sehr unterschiedlich. Als besonders durchlässig bekannt war die Strecke kurz nach dem Weidenauer Wehr, bei den »2 Scheunen« (Nr. 2). Hier konnte nur eine mäßige Abdichtung festgestellt werden, während an der Stelle bei Reisach (Nr. 5), an der ebenfalls stärkere Versickerungen beobachtet wurden, eine sehr starke Abdichtung stattfand. Auffallend niedrig ist das Ergebnis bei Nr. 3, bei der Abwassereinmündung Neumühle. Auf allen Behältern konnte eine an Arten und Zahl reiche β -mesosaprobe Lebewelt festgestellt werden. Die Biocoenosen bildeten meist einen geschlossenen Bewuchs. Bei den »2 Scheunen« konnte die Besiedlung jedoch vorwiegend nur auf der Oberfläche der Steine beobachtet werden.

Um festzustellen, ob die in den Töpfen stattgefundene Abdichtung vorwiegend biologisch oder mechanisch bedingt war, wurden mehrere Töpfe einer 14tägigen Austrocknung ausgesetzt und anschließend wiederum geprüft. Die erhaltenen Werte näherten sich stark den Ausgangswerten, die die Töpfe besaßen, bevor sie in das Flußbett eingesenkt wurden. Es ist deshalb anzunehmen, daß die Abdichtung in den Töpfen vorwiegend durch Organismen hervorgerufen wurde. Wenn die Abdichtung des Flußbettes zum großen Teil biologisch bedingt ist, dann müssen die Unterschiede der Abdichtung sich auch in den Biocoenosen ausdrücken. Wie bereits ausgeführt wurde, konnten im allgemeinen an den verschiedenen Stellen die gleichen Organismen festgestellt werden. Bei den »2 Scheunen« jedoch war kein geschlossener biologischer Bewuchs vorhanden. Die Untersuchung der vertikalen Ausbreitung der Protisten zeigte deutliche Unterschiede in der Besiedlungsdichte. Bei guter Abdichtung (vor dem Reisachwehr) konnte im Flußbett eine wesentlich reichere Lebewelt festgestellt werden als bei den »2 Scheunen« (Nr. 2), wo nur eine geringe Abdichtung ermittelt wurde. Aus den Untersuchungen geht hervor, daß der eigentliche Lebensraum der gefundenen Protisten die Oberfläche der Flußsohle ist. In dem dort sedimentierten fäulnisfähigen organischen Material finden die meisten Organismen ihre besten Lebensbedingungen. Zu ähnlichen Ergebnissen kommt HARTMANN (1954) bei seinen Versuchen über den Einfluß der landwirtschaftlichen Abwasserverwertung auf die Lebensgemeinschaft der bodenbewohnenden Protisten. Die Organismen im Flußboden waren ausschließlich Angehörige hydrischer Biotope. Durch die Anwendung der »direkten Methode« und der »Kulturmethode« bei den Untersuchungen konnte festgestellt werden, daß im Boden zahlreiche Protozoen

in Cystenform vorhanden sind, die sich infolge der ungünstigen Lebensbedingungen nicht excystieren können. Durch die Untersuchungen wurde festgestellt, daß die Austrocknung vor allem die größeren Formen zur Encystierung zwingt, während kleinere Formen und kriechende Tiere sich in excystiertem Zustand behaupten können. Aus physikalischen Gründen werden die Lebensbedingungen für die größeren Formen ungünstig — die Wasserschicht beschränkt sich immer mehr auf die Hülle um die Sandkörnchen, das Wasserreservoir wird zu klein, da sich in den Zwischenräumen schon Luft befindet. *Aspidisca lynceus* und *Aspidisca costata*, *Oxytrycha pellationella* und auch *Euplotes charon* sind als kriechende Formen wesentlich resistenter gegen die Austrocknung. Auffallenderweise können Kieselalgen trotz des Lichtabschlusses noch einige Zeit weiterexistieren. Bei mehreren Formen ist es ja bewiesen, daß sie in der Lage sind, zeitweise auch von gelöster organischer Substanz zu leben.

Der Unterschied des Protistengehaltes an den genannten Untersuchungsstellen (Topf 2 bei den »2 Scheunen«, schlechte Abdichtung und Organismenarmut, und Topf 4, gute Abdichtung, reich an Organismen) kann nicht auf der Feuchtigkeit als ökologischem Faktor beruhen. Neben der Feuchtigkeit des Bodens sind nach mehreren Autoren der Gehalt an organischer Substanz und der Gehalt des Bodens an Bakterien wichtige ökologische Faktoren, die das Leben der Protozoen im Boden ermöglichen. Es liegt nun nahe, den Gehalt des Bodens an organischer Substanz für die eben genannten Unterschiede verantwortlich zu machen. Da der Keimgehalt des Bodens als Maßstab für den Gehalt an abbaufähiger organischer Substanz dienen kann, wurden mit den protozoologischen Untersuchungen an den gleichen Stellen Keimzahlbestimmungen durchgeführt. Die stärkste Entwicklung der Bakterien war, wie das Vorkommen der Protisten, an der Oberfläche. Diese ist am reichsten an abbaufähiger organischer Substanz. Der Keimgehalt bei Topf 2 war wesentlich geringer als bei Topf 4, also analog zu den protozoologischen Befunden. Wie lassen sich jedoch die Unterschiede im Mangfallbett erklären? Wie aus den Untersuchungen hervorgeht, ist die Zusammensetzung der Lebensgemeinschaft auf der Strecke von Weidenau bis vor die Heidebäche annähernd gleich — die ökologischen Faktoren der Biotope sind also weitgehend ähnlich.

Eine Erklärung kann durch folgende Beobachtungen gegeben werden, die beim Nachlassen der Wasserführung am 5. 8. (und auch später) gemacht wurden. Gerade an den Stellen, an denen in den Versuchstöpfen nur eine geringe Abdichtung stattgefunden hat, bei den »2 Scheunen« Nr. 2 und bei der Abwassereinmündung Neumühle Nr. 3, floß das Wasser am längsten, während oberhalb und unterhalb dieser Stellen das Flußbett schon lange trocken lag. Diese Wasserführung (fließendes, nicht stehendes Wasser) dauerte wochenlang an. Sie begann zwischen dem Weidenauer Wehr und den »2 Scheunen« (Abb. 11), verschwand etwa 200 m unterhalb des Reisach-Wehres, um zwischen der Eisenbahnbrücke und der Thalhamer Straßenbrücke wieder zu erscheinen

und den Anschluß an die Heidebäche zu finden. Es kann sich hier nur um Grundwasser handeln, das vom Untergrund in das Flußbett eintrat. Durch Temperaturmessungen konnten deutliche Unterschiede festgestellt werden zwischen dem Mangfallwasser oberhalb des Weidenauer Wehres und dem eingetretenen Grundwasser im Mangfallbett. Durch eingehende Beobachtungen der Flußsohle konnte an vielen Stellen, besonders bei den »2 Scheunen«, das Auftreten von Gasblasen aus dem Untergrund festgestellt werden. Dabei wurden durch das emporquellende Wasser und durch die aufsteigenden Gasblasen Teile des biologischen Bewuchses hochgetrieben und abgeschwemmt. Die Messungen ergaben an diesen Stellen besonders deutliche Temperaturabnahmen des Wassers. Unterhalb der »2 Scheunen« bei dem großen Wehr trat der Flinz, die wassertragende Schicht, offen zutage. Er konnte bis 100 m nach der Abwassereinmündung von Neumühle (Nr. 3) verfolgt werden, zum Teil lag er offen, zum Teil verdeckt. Mit dem Verschwinden des Flinzes wurde die Wasserführung geringer und die Temperatur des Wassers höher. Unterhalb der Eisenbahnbrücke traten mit dem Wiedererscheinen von Grundwasser auch Gasblasen und Temperaturrückgang auf.

Bei diesen wasserführenden Strecken fand also ein Grundwassereintritt in das Flußbett statt, d. h., das Flußbett wurde von unten nach oben mit reinem Wasser durchspült. Bei dieser »Rückspülung« findet der entgegengesetzte Vorgang statt, wie er beim Versickern eintritt. Beim Versickern findet eine Anreicherung der oberen Schichten mit abgesiebttem organischem und anorganischem Material statt, welches einerseits eine gewisse mechanische Abdichtung herbeiführt und andererseits eine starke Entwicklung von Bakterien und Protozoen ermöglicht. Bei dieser »Rückspülung« durch den Anstieg des Grundwassers wurde die zu Beginn der Mangfallwasserführung eingeschwemmte organische und anorganische Substanz zum Teil wieder nach außen entfernt. (Das Auftreten von Gasblasen ist darauf zurückzuführen, daß das beim Einstromen der Mangfall rasch versickernde Wasser die Luft in den Gesteinsporen in den Untergrund gedrückt hat. Bei dem späteren Grundwasseraustritt in das Mangfallbett, bei der »Rückspülung«, wurden die Luftblasen wieder an die Oberfläche gebracht.) So bleibt nach dem Aufhören des Grundwasserzuflusses ein nährstoffärmerer und wahrscheinlich grobporigerer Boden zurück, der relativ arm an Organismen ist und der Austrocknung stärker ausgesetzt ist als bei den Teilen des Flußbettes, die nur von oben nach unten mit nährstoffreichem Wasser durchsickert wurden. Wenn Wasser in das ausgetrocknete Mangfallbett einströmt, wird es dort am raschesten versickern, wo es am wenigsten Widerstand findet: im grobporigen Boden. Wenn die Flußsohle reich an Kapillarröhren ist, werden diese dem eindringenden Wasser großen Widerstand entgegensetzen. Die biologische Abdichtung der Flußsohle kann sich in solchem kleinporigen Boden infolge der geringen Spülwirkung des Wassers und der mechanischen Absiebung von organischen Nährsubstanzen bedeutend rascher ausbilden.

IV. Untersuchungen über die Wirkung der Austrocknung und Wiederbelebung des biologischen Bewuchses auf die Wasserversickerung

Um die Wirkung der Austrocknung und Wiederbelebung des biologischen Bewuchses genau untersuchen zu können, wurden im Leerschußgerinne am Weidenauer Wehr und im Leerschußgerinne an der Schlierach bei der Ableitung des Kanals zum Leitzachwerk 150 cm lange, 50 cm breite und 80 cm hohe Holzkästen mit durchlocthem Boden aufgestellt. Sie wurden mit Schottermaterial aus einer Kiesgrube gefüllt, die etwa das gleiche Material besaß wie das Flußbett (Abb. 16). Die Biocoenosen der Flußsohle bewirken nicht nur eine mechanische Abdichtung, eine Verminderung der versickerten Wassermenge (in den Versuchskästen in 5 Tagen von 46% auf 1% gesunken), sondern auch der Keimgehalt wird sehr stark vermindert, er sank aber nicht unter 100 Keime cm³. Die Bakterien stammten wahrscheinlich z. T. aus dem Mangfallwasser, das durchgesickert war, z. T. aus dem Schottermaterial, in dem sich die Bakterien vermehrten. Die Differenz zwischen Zulauf und Filtrat betrug etwa 84%. Infolge des geringen Gehaltes an coliverdächtigen Keimen im Zufluß und Filtrat sind die Schwankungen im Reinigungseffekt bei diesen Bakterien ziemlich groß, sie betrugen ungefähr 87%.

Die chemische Beschaffenheit des Wassers änderte sich beim Durchlauf durch die Schotter-Sand-Füllung. Nicht nur der Kaliumpermanganatverbrauch des Wassers, der Sauerstoffgehalt und die Sauerstoffzehrung wurden beim Durchgang durch die Schotter-Sand-Füllung geringer, sondern es ging auch eine Umwandlung der Stickstoffverbindungen vor sich. In den ersten Tagen war im Filtrat ein langsames Ansteigen des Ammoniakgehaltes und Spuren von Nitrit nachzuweisen, während im Flußwasser diese Ionen nicht vorhanden waren. Durch Oxydationsprozesse im Filter wurden dann später diese Ionen zum Verschwinden gebracht, so daß im Filtrat fast immer Ammonium und Nitrit fehlten, während der Nitratgehalt anstieg. Mit zunehmender Betriebsdauer war also eine Reifung festzustellen, die sich in einer Zunahme von Nitrat, dem Endprodukt der Mineralisationsvorgänge, bemerkbar machte.

Bei diesen Versuchen konnte auch die starke Wirkung der Austrocknung untersucht werden: die Durchlässigkeit der Kastenfüllung war nach der Austrocknung groß und der Keimgehalt des versickerten Wassers sehr hoch. Die Abdichtung erfolgte nun aber rascher, da ja Reste einer früheren Dichtungsschicht vorhanden waren.

Durch eine beabsichtigte Störung der obersten Zentimeter der Kastenfüllung konnte festgestellt werden, daß hauptsächlich der obersten Schicht die größte Bedeutung bei der Abdichtung zukommt. Wie die Untersuchungen zeigten, sind ja auch die obersten Schichten zugleich der Ort des größten Organismenreichtums und der Bakterienentwicklung. Der Abfall der Keimzahl im Boden geht rasch vor sich, bei den coliverdächtigen Keimen rascher als bei den

anderen Bakterien. Obwohl das Filtrat nicht besonders reich an Bakterien ist, weisen die tieferen Schichten noch sehr hohe Keimzahlen auf. Daraus wird ersichtlich, daß dem Boden eine große Adsorptionskraft zukommt.

Bei den früheren Untersuchungen wurde festgestellt, daß im oligosaprobien Gewässer keine Abdichtung der Flußsohle infolge der Nährstoffarmut des Wassers erfolgen kann. Im stark belasteten Schlierachwasser kann sich jedoch schon bald eine Biocoenose ausbilden und eine Abdichtung des Flußbettes

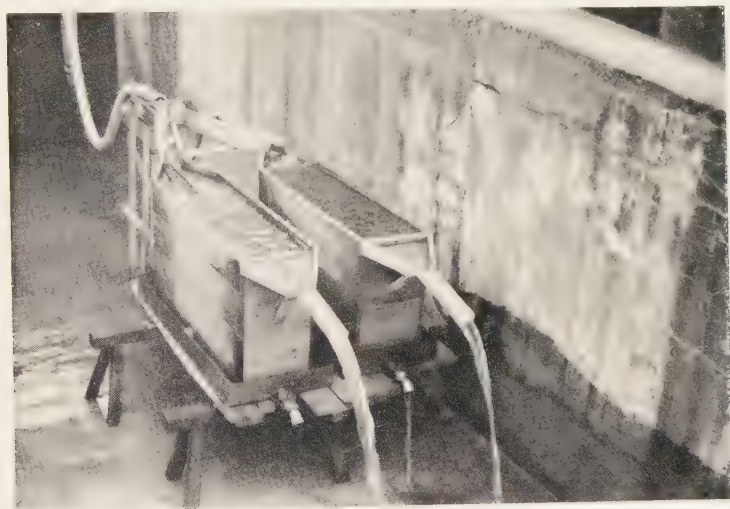


Abb. 16. Versuchskästen zur Untersuchung der Wirkung der Austrocknung und Wiederbelebung des biologischen Bewuchses auf die Wasserversickerung.

herbeiführen. Das gleiche Ergebnis konnte auch bei diesen Untersuchungen festgestellt werden. Im Vergleich zur Mangfall dichtete die Schlierach zwar langsamer ab, prozentual gesehen aber gründlicher (bei den Keimzahlverhältnissen). Die Porengröße des Schottermaterials ist von großer Bedeutung. Bei grobporiger Füllung stellt sich die Dichtung später ein, erreicht dann aber etwa dieselben Werte. Die Austrocknung macht sich beim grobporigen Boden wesentlich stärker bemerkbar als bei einer feinkörnigeren Füllung.

Der Einfluß der Temperatur machte sich im Winter stark bemerkbar. Hervorgerufen durch den plötzlichen Temperaturwechsel, wurden die Stoffwechselvorgänge der Organismen stark gehemmt. Es ergab sich dadurch eine Verringerung der Dichtungs- und Reinigungsverhältnisse. Bei ihren Untersuchungen über die Abhängigkeit der Beschaffenheit des Trinkwassers der Wasserwerke an der Ruhr von der Beschaffenheit des Ruhrwassers beobachteten GUNDEL und TÄNZLER (1937) regelmäßig ein Ansteigen der Keimzahl in den Sammelgalerien während der kälteren Monate. Dieselben Beobachtungen konnte auch ROEMER (1948) machen.

V. Die Lebensgemeinschaft des Bewuchses

Bei der Erstbesiedlung eines Biotops, wie wir sie in der Mangfall bzw. bei den Versuchen mit den Versickerungskästen vor uns haben, wirkt der »Zufall« als ökologischer Faktor und bedingt die erste Form und Zusammensetzung der Biocoenosen, denn die Biocoenose wird mehr oder weniger stark bestimmt durch die erste Besiedlung mit Organismen. Die Expansionskraft eines Lebewesens, die Gunst oder Ungunst der Lebensverhältnisse für einen Organismus im Biotop bestimmen dann Gestaltung, Werden und Vergehen in der Biocoenose. Die erste Besiedlung der Steine in den Versuchskästen erfolgte durch die Organismen des »Planktons«, d. h. durch die im Flußwasser treibenden Organismen, die aus anderen Biocoenosen abgeschwemmt wurden. Bei den Versuchen mit Mangfallwasser bildete sich schon ziemlich bald ein Diatomeenbewuchs aus. Tierische Organismen finden sich in der entstehenden Biocoenose bei den Versuchen mit Mangfallwasser kaum. Die Artenzahl und auch die Zahl der Organismen in der Biocoenose wächst sehr rasch an, wenn sich die ersten Kieselalgen festgesetzt haben. Die zahlreichen Formen der Diatomeen mit ihren Ketten und Sternen (*Diatoma* vulg. var. *Ehrenbergii*, *Diatoma vulgare*, *Tabellaria fenestrata*, *Fragilaria crotonensis*, *Fragilaria capuzina* u. a.) wirken in der Strömung wie ein Sieb, in dem sich immer mehr Organismen und organische und anorganische Substanz verfangen. Sehr günstig wirken sich in der Mangfall die Nadelholzfasern der flußaufwärts liegenden Industrie aus. Schon während des Treibens im Fluß dienen sie durch ihre zerzaute Oberfläche als Ansatzpunkt für Diatomeen und andere Organismen (Grünalgen, Cyanophyceen u. a.). Lagern sich nun diese Knäuel ab, dann wird schon eine Mannigfaltigkeit an Organismenarten in den Biotop gebracht, die durch die verschiedenen ökologischen Faktoren des Biotops ausgelesen wird. Durch die starke Vermehrung und Ausdehnungskraft der Kieselalgen, besonders von *Diatoma* vulg. var. *Ehrenbergii*, *Tabellaria fenestrata*, *Diatoma vulgare*, *Synedra ulna*, *Navicula rhynchocephala*, *Fragilaria capuzina* u. a., bildet sich ein teppichartiger Belag von Stein zu Stein. Wenn die Ausbildung eines Bewuchses einmal ihren Anfang genommen hat, schreitet die Ausbildung der Biocoenose immer rascher vor sich. Während tierische Organismen zuerst kaum vorhanden waren, traten sie später nicht selten auf durch die veränderten ökologischen Faktoren des Bewuchses, die der β -mesosaproben Fauna günstige Lebensbedingungen boten. Bei der Schlierach lagen die Besiedlungsverhältnisse anders. Infolge des hohen Keimgehaltes und des hohen Gehaltes an fäulnisfähiger organischer Substanz konnten sich schon sehr früh Ciliaten ansiedeln, da vor allem die Strudler schon sehr früh günstige Lebensbedingungen vorfanden. Diese rasche tierische Ansiedlung wurde gefördert durch die im Fluß treibenden Sphaerotilusflocken, die schon eine reiche Fauna aufweisen und beim Festsetzen bereits eine ganze Lebensgemeinschaft in einen Biotop einführen.

Die Biocoenose des Bewuchses ist ein veränderliches Gebilde. Sie befindet sich fortwährend in einem beweglichen Zustand, denn ihre augenblickliche Struktur ist das Ergebnis der gleichzeitigen Einwirkung verschiedener innerer und äußerer Faktoren. Innerhalb des Bewuchses können die ihn kennzeichnenden Formen zugunsten anderer zurücktreten, z. B.: *Diatoma vulgare* — *Diatoma vulgare* var. *Ehrenbergii*; *Diatoma vulgare* var. *Ehrenbergii* — *Navicula rhynchocephala*; Kieselalgen — Grünalgen und Jochalgen. Die einzelnen Glieder der Biocoenosen ermöglichen gegenseitig ihre Existenz durch ihre Ernährungsbeziehungen, Fortpflanzungsbeziehungen und durch das Schutzbedürfnis.

Die Rolle, welche die einzelnen Arten in dieser aufeinander abgestimmten Lebensgemeinschaft spielen, ist sehr verschieden und kann von unterschiedlichen Gesichtspunkten aus betrachtet werden. Wenn man die Lebensgemeinschaft betrachtet hinsichtlich ihrer strukturellen Ausbildung, so scheiden sich die Organismen in aufbauende Arten und in Arten, welche den Bewuchs zerstören. β -mesosaprobe Kieselalgen, Chlorophyceen und Cyanophyceen einerseits und α -bis polysaprobe Organismen andererseits (Opercularien, Vorticellen, Sphaerotilus, Beggiatoa, Zoogloenbakterien, Chlorobakterien, Oscillatorien und Phormidium), also festsitzende Arten, bauen den Bewuchs auf. Bei den Mangfallbiocoenosen sind es also hauptsächlich die Produzenten der Lebensgemeinschaft, welche die erste Besiedlung des Biotops bilden und seine Struktur bestimmen. An bestimmten Stellen können durch gewisse Algen, vor allem Oscillatoriaceen, irreversible Ausgestaltungen der Biotope durch biogene Entkalkung vorkommen. Bei den Lebensgemeinschaften der Schlierach dagegen sind es vorwiegend festsitzende Konsumenten und Reduzenten, die infolge der starken Zufuhr allochthoner organischer Substanz sich sehr bald im Biotop ansiedeln und vermehren können und die strukturelle Beschaffenheit des Bewuchses bestimmen.

Zu der Gruppe der Organismen, welche die Struktur des Bewuchses durch Fraß oder Durchwühlung schädigen, gehören ausschließlich Konsumenten: Oligochaeten, Hirudineen, Nematoden, Turbellarien, Gastrotrichen, Entomostracen, Malacostracen, Muscheln und Schnecken, sowie Imagines, Larven und Puppen von Insekten und die Menge der beweglichen Protozoen und Rotatorien. Viele Metazoen, die auf die Protisten verdrängend wirken können, bieten ihnen jedoch wiederum auch die Möglichkeit zur Ansiedlung. So weiden z. B. die Schnecken den Diatomeenrasen ab und bedecken zur Laichzeit den Bewuchs mit Laich, so daß dieser zugrunde geht. Auf dem Laich jedoch siedeln sich wieder Protozoen und Algen an. Entomostracen sind häufig besiedelt von Opercularien und Vorticellen.

Die netzspinnenden und röhrenbauenden Insektenlarven und Puppen bilden durch ihre Bauten eine sehr günstige Ansiedlungsmöglichkeit für Mikroorganismen. An der rauhen Oberfläche und im Strömungsschatten der Gespinste können sich Algen festsetzen und ungelöste Substanz ablagern, die

für viele Tiere wiederum eine Existenzbedingung darstellen. Vor allem sind zu nennen: die netzspinnenden Hydropsychiden, Trichopteren, viele röhrenbauende Chironomiden und bachbewohnende Orthocladinen, die sich in ungeheuren Mengen auf den Steinen im Bachbett finden und mit Sand, Algen und Detritus bedeckte Röhren bauen.

Bei Betrachtung der physiologisch-ökologischen Wirkung der Organismen im Bewuchs kann man die Tiere und Pflanzen ebenfalls in verschiedene Gruppen teilen. Die Glieder einer Biocoenose können eingeteilt werden in Produzenten, Konsumenten und Reduzenten. Zu den Produzenten gehören die vielen Algenarten. Aus Sonnenlicht und anorganischem Material bauen sie organische Substanz auf. Die Konsumenten sind die Tiere, die organische Substanz zum Aufbau ihres Körpers und zur Aufrechterhaltung des Lebens brauchen. Zu dieser Gruppe zählt die Mehrzahl der Protozoen und Metazoen. Sie gliedert sich weiterhin auf in Pflanzenfresser, Detritusfresser, Planktonfresser und Räuber. Die Reduzenten beseitigen die gelöste und kolloidal aufgeschwemmte hochmolekulare Substanz und mineralisieren sie: Bakterien und Saprozoen. In der Mangfall setzen sich die Biocoenosen zusammen aus Produzenten, Konsumenten und Reduzenten. Der Biotop ist weitgehend geschlossen, d. h. autarkisch. Im Gegensatz dazu überwiegen in der Schlierach die Konsumenten und Reduzenten, während Produzenten kaum vorhanden sind. Die Bewohner des Biotops sind auf Zufuhr allochthoner organischer Substanz angewiesen.

Durch die Summe der ineinandergreifenden Lebensprozesse der einzelnen Glieder dieser Biocoenosen wird die Wirkung bestimmt, welche die Biocoenose auf die Wasserversickerung ausübt: Verfestigung und Abdichtung der Flußsohle und Abbau der fäulnisfähigen organischen Substanz des versickernden Wassers.

VI. Versuche im Laboratorium

Zur Klärung der Frage, welchen Organismen die Reinigung des Wassers bei der Filtration zukommt, den Protozoen oder den Bakterien, wurden Laboratoriumsversuche durchgeführt. KISSKALT (1915 und 1917), welcher in der Filtration einen biologischen Vorgang sah, schrieb die Keimverminderung bei der Filtration den bakterienfressenden Protozoen zu. VON HILGERS und LAUTER (1921) und VON STUNDL (1939) wurden jedoch Protozoen mehr oder weniger häufig nur an der Oberfläche gefunden. Bei meinen Untersuchungen konnte ich Protozoen zum Teil in großer Zahl feststellen. Weitaus die meisten Protozoen hielten sich jedoch auf dem Filter auf, in oder über dem »biologischen Bewuchs«, der zum Teil als zähe Haut, zum Teil als lockerer Schlamm Schleier ausgebildet war. Im Filterinnern wurden nur sehr selten Protozoen gefunden. Falls also die Keimverminderung im Wasser auf die Protozoen

zurückzuführen wäre, dann müßte die Keimverminderung im biologischen Bewuchs stattfinden, der sich auf dem Filtermaterial befindet. Es wurden deshalb Versuche durchgeführt, in denen festgestellt werden sollte, ob die Keimverminderung und die Reinigung des Wassers auf der Filteroberfläche oder in den tieferen Schichten stattfindet. Aus den Versuchen ergab sich, daß die stärkste Keimverminderung in den obersten Schichten stattfand, doch wurde auch ein beträchtlicher Teil der Keime erst in den tieferen Lagen zurückgehalten, Protozoen konnten dagegen in den tieferen Schichten nicht festgestellt werden.

Aus den Versuchen ergab sich ferner, daß der Abbau der organischen Substanz und die Bildung von Ammoniak schon in den oberen Schichten sehr stark ist. Im Verlauf des Versuches traten jedoch beim Auslauf nach einigen Tagen Nitrit und Nitrat auf, während zu dieser Zeit in den höheren Schichten diese Mineralisationsprozesse nicht nachgewiesen werden konnten. Erst im weiteren Verlauf verlagerte sich die Nitrit- und Nitratabbildung in die höheren Lagen. Auffallend ist dabei das Verschwinden von Nitrit und Nitrat im Ablauf. Sehr wahrscheinlich hat in den tieferen Lagen infolge Sauerstoffmangels Denitrifikation stattgefunden.

KISSKALT konnte bei seinen Modellversuchen durch Zugabe von Giftstoffen Protozoen und Cysten abtöten und beobachtete daraufhin einen erhöhten Keimgehalt im Filtrat. Er nahm an, daß Bakterien durch diese Konzentrationen der Giftstoffe nicht geschädigt wurden. Bei meinen Versuchen mit diesen Giftstoffen zeigte sich jedoch eine erhebliche Störung bzw. Verzögerung der Abbauvorgänge. Da die chemischen Abbauprozesse durch Bakterien bewirkt werden, dürfte also sicherlich eine Schädigung der Stoffwechselvorgänge der Bakterien im Filter vorliegen. Der Keimgehalt im Filtrat war verhältnismäßig hoch. Nachdem nunmehr nachgewiesen werden konnte, daß auch eine Störung der bakteriologischen Vorgänge auftritt, liegt es nahe, eine gewisse Schädigung der Bakterienwelt anzunehmen. Es ist nicht ausgeschlossen, daß der Giftstoff auch auf die gallertige Umhüllungsschicht der Sandkörner wirken kann und daß dadurch gewisse Oberflächenveränderungen auftreten mit Zunahme der Durchlässigkeit, wie es sich HILGERS und LAUTER (1921) vorstellen.

Die Verwendung von Giftstoffen hat sich für die teilweise Sterilisation als nicht geeignet erwiesen. Durch 30 Minuten Erwärmen auf etwa 60 Grad werden alle Protozoen und Cysten abgetötet WAKSMAN (1923), LIEBMANN (1936), VIEHL (1937). Bei dieser Erwärmung werden jedoch auch die nicht sporenbildenden Bakterien, wie z. B. Nitratbildner, getötet. Aus diesem Grunde wurde bei meinen Versuchen das verwendete Wasser nach dem Erwärmen mit einem protozoen- und cystenfreien (kleine Flagellaten jedoch ausgenommen) Abwasserfiltrat wieder beimpft. Die Versuche wurden selbstverständlich unter sterilen Bedingungen durchgeführt. Es zeigte sich nur eine geringe Verzögerung der Abbauprozesse im Vergleich zu den Kontroll-

versuchen (Bakterien und Protozoen enthaltend). Diese Unterschiede dürften auf der individuellen Verschiedenheit der einzelnen Filter beruhen. Der Keimgehalt im Filtrat lag etwas höher gegenüber den Bakterien und Protozoen enthaltenden Kontrollversuchen. Die Unterschiede können teils auf der Fehlerbreite beruhen, zum andern Teil wahrscheinlich auf der verminderten Adsorptionskraft des Schlammes beim protozoenfreien Wasser. Die Protozoen regenerieren die Schlamnteilchen und erhöhen dadurch ihre Adsorptionskraft wieder. Der Bakterienfraß der Protozoen könnte bei diesen Unterschieden ebenfalls beteiligt sein. Im Vergleich zu den Versuchen, bei denen das Wasser durch Giftzusatz protozoenfrei gemacht wurde, lagen die Keimzahlen im Filtrat wesentlich tiefer.

Aus den Untersuchungen geht hervor, daß den Protozoen auf der Filteroberfläche eine Bedeutung zukommt hinsichtlich der Ausflockung der Kolloide, der Klärung des Wassers, der Regeneration des Schlammes und eine gewisse keimvernichtende Wirkung. Die Protozoen bewirken aber niemals den Hauptteil der keimvermindernden Wirkung des Filters.

Die Keimzahl des Filtrates nimmt ab mit abnehmender Versickerungsgeschwindigkeit und dem Fortschreiten der chemischen Abbauprozesse. Letztere werden bedingt durch Bakterien. Es muß deshalb eine Zunahme der Keimzahl mit fortschreitender Betriebszeit, besonders in den oberen Schichten, stattfinden. Durch die Untersuchungen wurde festgestellt, daß tatsächlich eine Zunahme der Keimzahl im Filter stattfindet, besonders in den oberen Schichten und bei Wasser, das reich an fäulnisfähiger organischer Substanz ist. Die Abnahme der vertikalen Verbreitung in die Tiefe war bei den Bakterien, die Verdacht auf die Coli-Aerogenes-Gruppe zeigten, noch stärker ausgeprägt als bei der Gesamtkeimzahl. Diese Untersuchungen zeigten, daß nicht nur im Filtersand, sondern auch im Filtrat eine wesentlich stärkere Abnahme der Coli-Aerogenes-verdächtigen Keime gegenüber der Gesamtkeimzahl erfolgt.

Die Ergebnisse der Untersuchungen mit verschiedener Filtergeschwindigkeit und verschiedener Korngröße zeigen die Abhängigkeit der Reinigung von der Durchlaufzeit und der Korngröße. Da diese Reinigungsprozesse auf Kontaktwirkungen beruhen, ist der Filterprozeß ein Produkt von Kontaktzeit und Kontaktfläche.

VII. Zusammenfassung

1. Bei Wasserführung im meist ausgetrockneten Mangfallflußbett können in der benachbarten Grundwasserfassung der Stadt München erhöhte Keimzahlen, *Bacterium coli* sowie pflanzliche und tierische Mikroorganismen, die aus dem Mangfallbett stammen, festgestellt werden.

2. Die Infiltration vom Flußbett her muß nicht direkt erfolgen, sondern es können sich Ablagerung und Weitertransport bei erneuter Wasserführung im Mangfallbett im Boden abwechseln.

3. Durch im Fluß eingegrabene Versuchsgeräte wurde festgestellt, daß im oligosaproben Flußwasser keine Abdichtung der Flußsohle eintritt, im β -mesosaproben bis polysaproben Flußwasser dagegen treten schon wenige Tage später erhebliche Abdichtungen auf. Die Abdichtungen sind biologisch bedingt.

4. Die biologische Abdichtung erstreckt sich vorwiegend auf die obersten Zentimeter im Flußbett. Hier ist die größte Entwicklung der Organismen. Protisten treten in tieferen Schichten sehr selten und nur encystiert auf. Durch die Austrocknung der Flußsohle werden vor allem die größeren Formen zur Encystierung gezwungen. Kleinere Formen und kriechende Tiere können sich noch länger behaupten. Die Keimzahl des Bodens ist in den tieferen Schichten bedeutend niedriger als in den oberen Schichten.

5. Im Mangfallbett findet nach längerer Wasserführung an verschiedenen Stellen ein Grundwasserzufluß statt. Diese Stellen sind dann nach längerer Austrocknung des Flußbettes besonders durchlässig, da der Boden infolge des Grundwassereintrittes in das Flußbett grobporiger, nährstoff- und organismenärmer ist.

6. Durch eine Filterversuchsanordnung wurde festgestellt, daß durch die Biocoenosen nicht nur eine Verminderung der versickernden Wassermenge herbeigeführt wird. Bei der Versickerung wird die Keimzahl vermindert, der KMnO_4 -Verbrauch des Wassers, der Sauerstoffgehalt und die Sauerstoffzehrung werden geringer. Im Filter geht eine Umwandlung der Stickstoffverbindungen vor sich. Mit zunehmender Betriebsdauer ist eine »Reifung« des Filters festzustellen — der Nitratgehalt nimmt zu.

7. Durch längere Austrocknung wird die mechanische, biologische und chemische Filterwirkung weitgehend aufgehoben.

8. Für die Wirkung des Filters sind die obersten, organismenreichen Schichten von größter Bedeutung.

9. Bei niederen Temperaturen werden die Stoffwechselvorgänge der Organismen gehemmt, so daß eine Verschlechterung der Dichtungs- und Reinigungsverhältnisse herbeigeführt wird.

10. Bei ergänzend durchgeführten Laboratoriumsversuchen konnte festgestellt werden, daß der Abbau der organischen Substanz und die Bildung von Ammoniak bereits in den oberen Schichten des Filters sehr stark ist. Nitrit- und Nitratbildung erfolgen in den unteren Schichten, verlagern sich aber mit zunehmender Betriebsdauer weiter nach oben, während Nitrit und Nitrat im Ablauf infolge Denitrifikation verschwinden.

11. Die Protozoen bewirken nicht den Hauptteil der keimvermindernden Wirkung des Filters. Die Keimverminderung findet nicht nur an der Filteroberfläche statt, sondern auch in tieferen Schichten, in denen Protozoen nur selten vorkommen.

12. Die Keimzahl des Filtrats sinkt mit der Abnahme der Versickerungsgeschwindigkeit und dem Fortschreiten der chemischen Abbauprozesse bei

zunehmender Betriebsdauer. Gleichzeitig erfolgt eine Zunahme der Keimzahl im Filtermaterial, besonders in den oberen Schichten, sowie bei Wasser, welches reich an fäulnisfähiger organischer Substanz ist.

13. Bei Coli-Aerogenes-verdächtigen Bakterien war die Abnahme der vertikalen Verbreitung in der Tiefe stärker ausgeprägt und die Verminderung im Filtrat größer als bei der Gesamtkeimzahl.

14. Die Reinigungsprozesse beruhen auf Kontaktwirkungen, deshalb ist der Filterprozeß als ein Produkt aus Kontaktfläche und Kontaktzeit anzusehen.

Literaturverzeichnis

- BARTOS, D., I. BANGAST und K. BAKOS: Die Lebensdauer der enteralen krankheitserregenden Bakterien im Brunnwasser. *Z. f. Hygiene* (1946), H. 127.
- BEGER, H.: Leitfaden der bakteriologischen Trinkwasseruntersuchung. Berlin, München, Wien: Urban & Schwarzenberg 1946.
- BRUNS, H.: Die Wasserversorgung des Ruhrkohlengebietes in hygienischer Beziehung. 5. Beiheft der »Kleinen Mitteilungen für die Mitglieder des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene« 1927.
- CALAWAY, W. T.; W. R. CAROLL und S. K. LONG: Heterotrophic Bacteria encountered in intermittend Sandfiltration of Sewage. *Sew. and Ind. Wastes* 1952.
- DORNFEDDEN, H.: Beiträge zur Trinkwasserreinigung durch die langsame Sandfiltration. *GWf* Jg. 73 (1930).
- FRÄNKEL, C., und C. PIEFKE: Versuche über die Sandfiltration. *Z. f. Hygiene* Jg. 8 (1890).
- GUNDEL, M., und K. TÄNZLER: Über die Abhängigkeit der Beschaffenheit des Trinkwassers der Wasserwerke an der Ruhr von der Beschaffenheit des Ruhrwassers. *Z. f. Hygiene* Jg. 119 (1937).
- HARTMANN, L.: Untersuchungen über die Wirkung der landwirtschaftlichen Abwasser- verwertung auf die Lebensgemeinschaft der bodenbewohnenden Protisten. Inaug.-Diss. München 1954. Jahrbuch Vom Wasser XXIII, 1956.
- HENLE: Die Wasserversorgung der königl. Haupt- und Residenzstadt München, ihre Entwicklung und ihr gegenwärtiger Stand. München 1912.
- HEUKELEKIAN, H.: *Sewage Works* I. 3, 1931.
- HEUKELEKIAN, H., und M. GURBAXANI: Effect of Certain Physical and Chemical Agents on the Bacteria and Protozoa of Activated Sludge. *Sewage Works Journ.* 21 (1949).
- HILGERS, W., und H. LAUTER: Untersuchungen über die Wirkung der langsamen Sandfiltration. *Ges.-Ing. Jg.* 44 (1921).
- HURDELBRIK: Beitrag zur Chemie des Oberflächenwassers und des Filtrationsprozesses. *GWf* 1923.
- JÄGER, G.: Über die Reinigungswirkung von Protozoenreinkulturen in häuslichem Abwasser. *Z. f. Hygiene* Jg. 120 (1938).
- KIRWOOD, J. C.: Report on the Filtration of Riverwaters for the Supply for Cities practised in Europe. 1869.
- KISSKALT, K.: Theorie der langsamen Sandfiltration. *Z. f. Hygiene* Jg. 80 (1915).
- Störungen bei der Sandfiltration und ihre Erklärung durch die biologische Theorie. *Z. f. Hygiene* Jg. 83 (1917).
- KNORR, M.: Schutzzonenfrage. *GWf* Jg. 92 (1951).
- KULP, W. L.: A Note concerning the Effect of a Specific Environment on the Characteristics and Viability of Several Streptococci, A. aerogenes and E. coli. *Journ. Bact.* Jg. 24 (1932).

- LIEBMANN, H.: Auftreten, Verhalten und Bedeutung der Protozoen bei der Selbstreinigung stehenden Abwassers. Z. f. Hygiene Jg. 118 (1936).
- PENNINK: Das Wesen der Sandfiltration. Journal für Gasbeleuchtung und Wasserversorgung Jg. 51 (1908).
- ROEMER, G. B.: Über den Einfluß jahreszeitlich bedingter Faktoren auf die Beschaffenheit uferfiltrierten Rheinwassers. Ges.-Ing. Jg. 69 (1948).
- STUNDL, K.: Untersuchungen über Keimverminderung und chemische Umsetzungen in den Sandfiltern von Wassergewinnungsanlagen. Z. f. Hygiene Jg. 122 (1939).
- VIEHL, K.: Untersuchung über das Wesen der Selbstreinigung und der künstlichen biologischen Reinigung des Abwassers. Z. f. Hygiene Jg. 119 (1937).
- WAGNER, G.: Versuche über das biologische Prinzip in der Abwasserreinigung mit belebtem Schlamm. Festschrift 25 Jahre Technische Hochschule Danzig. 1929.
- WAKSMAN, A. S.: Partial Sterilization of Soil, Microbiological Activities and Soil Fertility. Soil Science 16 (1923).
- YOUNG, C. C., und M. GREEN-FIELD: Observations on the Viability of the Bacterium coli growing under Natural and Artificial Conditions. Americ. Journ. Pub. Health Jg. 13 (1923).

Lebenslauf

Ich, Horst Willibald Kustermann, wurde am 19. 4. 1928 in Schwäbisch Gmünd geboren als 2. Sohn des Kaufmanns Max Kustermann und seiner Ehefrau Adelheid, geb. Wünsch.

Von 1935 bis 1939 besuchte ich die Kepler-Grundschule in Ulm (Donau) und im Anschluß daran von 1939 an die Kepler-Oberschule in Ulm. Am 10. Januar 1944 wurde ich zum Wehrdienst einberufen. Nach meiner Gefangenschaft in Frankreich trat ich im November 1945 in die 7. Klasse der Kepler-Oberschule in Ulm ein. Am 25. Juni 1948 legte ich in der 9. Klasse die Reifeprüfung ab.

Für die Finanzierung des späteren Studiums arbeitete ich bis 1950 in einer Automobilfabrik.

Vom Sommersemester 1950 bis zum Sommersemester 1954 war ich ordentlich Studierender der Naturwissenschaftlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München. Im Herbst des Jahres 1955 legte ich vor dem Bayerischen Staatsministerium für Unterricht und Kultus in München das Staatsexamen ab in den Fächern Zoologie, Botanik, Chemie, Geographie und Philosophie.

